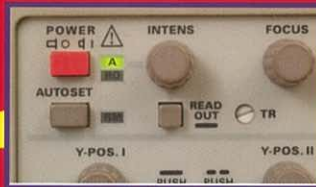
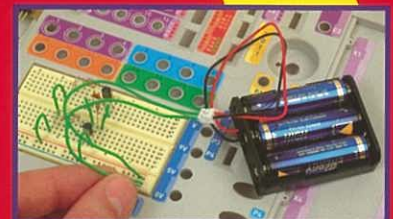
impara l'elettronica

digitale

...e costruisci il tuo LABORATORIO DIGITALE

6,90 €

14

9 771824 363008 41014

Peruzzo & C.

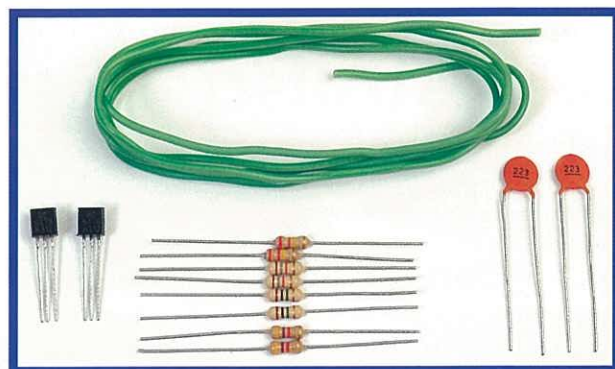
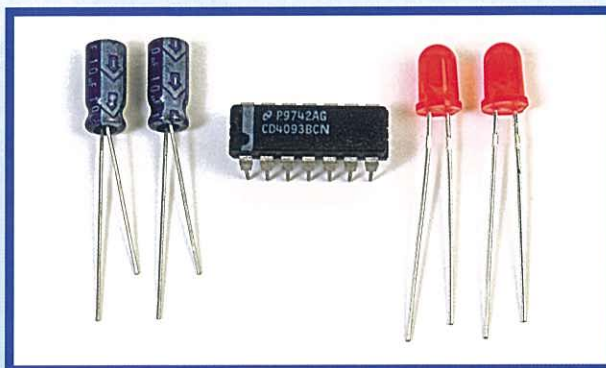
Direttore responsabile:
ALBERTO PERUZZO
Direttore Grandi Opere:
GIORGIO VERCELLINI
Consulenza tecnica e traduzioni:
CONSULCOMP S.n.c.
Pianificazione tecnica
LEONARDO PITTON

Direzione, Redazione, Amministrazione: viale Ercole Marelli 165, Tel. 02/242021, 20099 Sesto San Giovanni (Mi). Pubblicazione settimanale. Registrazione del Tribunale di Monza n. 1738 del 26/05/2004. Spedizione in abbonamento postale gr. II/70; autorizzazione delle Poste di Milano n. 163464 del 13/2/1963. Stampa: Staroffset s.r.l., Cernusco S/N (MI). Distribuzione SO.DI.P. S.p.A., Cinisello Balsamo (MI).

"ELETTRONICA DIGITALE" si compone di 70 fascicoli settimanali da suddividere in 2 raccoglitori.

RICHIESTA DI NUMERI ARRETRATI. Per ulteriori informazioni, telefonare dal lunedì al venerdì ore 9.30-12.30 all'ufficio arretrati tel. 02/242021. Se vi mancano dei fascicoli o dei raccoglitori per completare l'opera, e non li trovate presso il vostro edicolante, potrete riceverli a domicilio rivolgendovi direttamente alla casa editrice. Basterà compilare e spedire un bollettino di conto corrente postale a PERUZZO & C. s.r.l., Ufficio Arretrati, viale Marelli 165, 20099 Sesto San Giovanni (MI). Il nostro numero di c/c postale è 42980201. L'importo da versare sarà pari al prezzo dei fascicoli o dei raccoglitori richiesti, più le spese di spedizione € 3,10 per pacco. Qualora il numero dei fascicoli o dei raccoglitori sia tale da superare il prezzo globale di € 25,82 e non superiore a € 51,65, l'invio avverrà per pacco assicurato e le spese di spedizione ammonteranno a € 6,20. La spesa sarà di € 9,81 da € 51,65 a € 103,29; di € 12,39 da € 103,29 a € 154,94; di € 14,98 da € 154,94 a € 206,58; di € 16,53 da € 206,58 in su. Attenzione: ai fascicoli arretrati, trascorse dodici settimane dalla loro distribuzione in edicola, viene applicato un sovrapprezzo di € 0,52, che andrà pertanto aggiunto all'importo da pagare. Non vengono effettuate spedizioni contrassegno. Gli arretrati di fascicoli e raccoglitori saranno disponibili per un anno dal completamento dell'opera. IMPORTANTE: è assolutamente necessario specificare sul bollettino di c/c postale, nello spazio riservato alla causale del versamento, il titolo dell'opera nonché il numero dei fascicoli e dei raccoglitori che volete ricevere.

IN REGALO in questo fascicolo

1 Cavetto verde rigido
2 Transistor BC548 o BC547
2 Resistenze 1,8 K 5% 1/4 W
2 Resistenze 47 K 5% 1/4 W
2 Resistenze 1 M 5% 1/4 W
2 Resistenze 330 K 5% 1/4 W
2 Condensatori ceramici 22 nF

IN REGALO nel prossimo fascicolo

1 Circuito integrato 4093
2 Condensatori elettrolitici da 10 µF
2 LED rossi

COME RACCOGLIERE E SUDDIVIDERE L'OPERA NELLE 4 SEZIONI

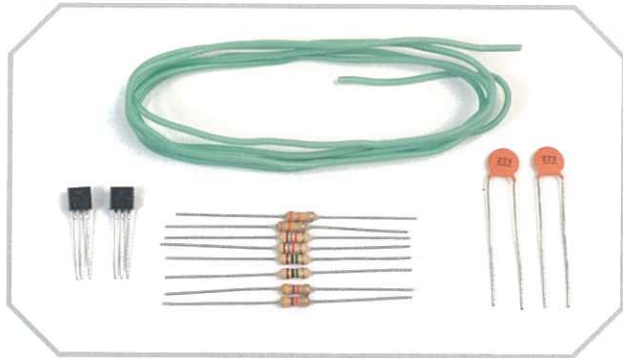
L'Opera è composta da 4 sezioni identificabili dalle fasce colorate, come indicato sotto. Le schede di ciascun fascicolo andranno suddivise nelle sezioni indicate e raccolte nell'apposito raccoglitore, che troverai presto in edicola. Per il momento, ti consigliamo di suddividere le sezioni in altrettante cartellette, in attesa di poterle collocare nel raccoglitore. A prima vista, alcuni numeri di pagina ti potranno sembrare ripetuti o sbagliati. Non è così: ciascuno fa parte di sezioni differenti e rispecchia l'ordine secondo cui raccogliere le schede. **Per eventuali domande di tipo tecnico scrivere al seguente indirizzo e-mail:** elettronicadigitale@microrobots.it

Hardware Montaggio e prove del laboratorio

Digitale di base Esercizi con i circuiti digitali

Digitale avanzato Esercizi con i circuiti sequenziali

Microcontroller Esercizi con i microcontroller

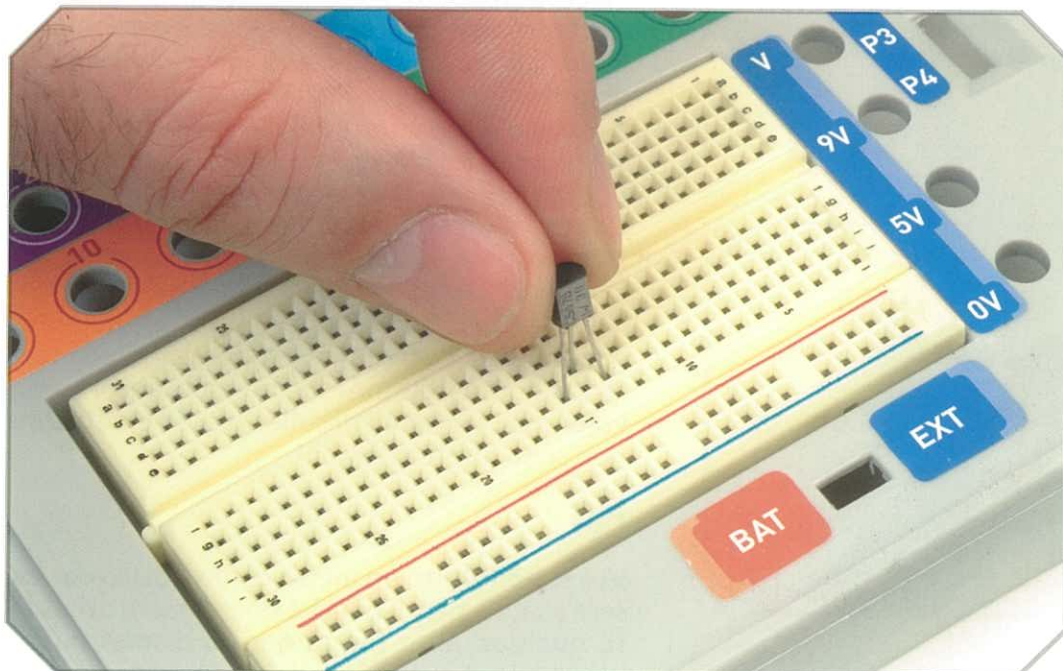
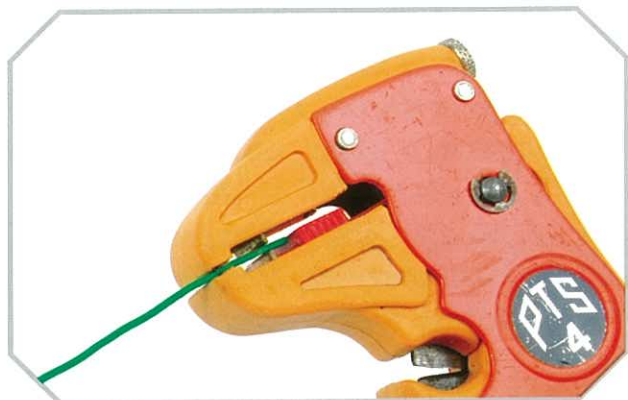
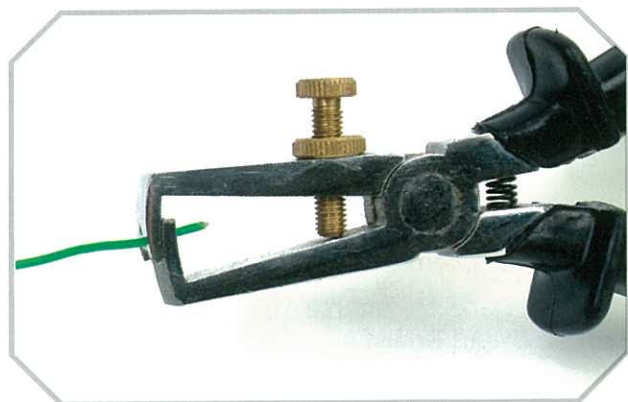
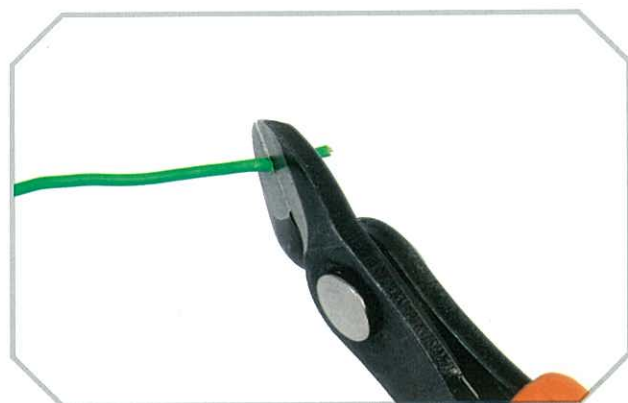
Gli esperimenti

Componenti di questo fascicolo.

Il laboratorio dispone di due aree dove poter lasciare i componenti ed evitare che rotolino o cadano a terra.

Nel fascicolo precedente vi è stata fornita la scheda Bread Board, in questo continueremo fornendovi componenti e pezzi, non solo quelli indispensabili al laboratorio, ma anche altri che utilizzeremo negli esercizi proposti per la scheda Bread Board. Riceverete: un pezzo di filo di rame rigido da 0,5 mm di diametro, due transistor NPN, due condensatori e alcune resistenze.

Le resistenze

Tutte le resistenze sono da 1/4 W con una tolleranza del 5%, e si identificano per le bande colorate sul loro contenitore: quelle da 1K8 hanno le bande marrone, grigio e rosso; quelle da 47 K, giallo, viola e arancio; quelle da 1 M marrone, nero e verde.

Se gli estremi dei loro terminali contengono qualche residuo adesivo, possono essere tagliati, anche se è sufficiente pulirli, infatti è meglio che abbiano una lunghezza sufficiente per poter collegare le diverse file di contatti della scheda Bread Board avvicinando o separando i

La scheda Bread Board è già pronta per essere utilizzata.

Dettaglio di uno spelafili con il filo inserito.

Dettaglio di un altro tipo di spelafili.

Per togliere l'isolante con un tronchesino è necessaria molta abilità.

contatti secondo il caso. Non dobbiamo dimenticare come è fatta la struttura interna della scheda per sfruttare al massimo le sue possibilità di collegamento, ricordiamo quindi che le file sono di cinque contatti uniti tra loro.

I condensatori

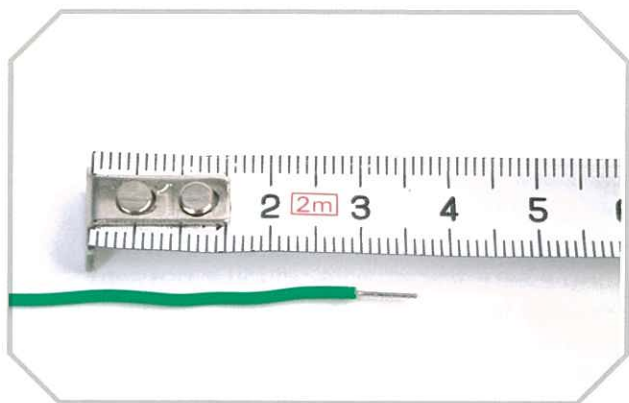
Esistono due formati di condensatori: in uno di essi, i terminali sono molto corti e bisogna cercare il modo di collegarli, essendo normalmente multipli del decimo di pollice, l'altro formato, invece, ha terminali abbastanza lunghi come le resistenze e ciò facilita il loro collegamento; questo è il caso degli elettrolitici, la cui separazione tra i terminali non è molto standardizzata. Nemmeno i terminali lunghi dei condensatori dovranno essere tagliati e, quando utilizzeremo componenti con terminali molto corti, probabilmente dovremo utilizzare dei fili di collegamento intermedi, per realizzare le connessioni necessarie. In questo caso vi vengono forniti due condensatori con dielettrico ceramico senza polarità, al contrario dei condensatori elettrolitici che hanno polarità, ovvero un polo positivo e uno negativo, cosa che richiede di verificare bene lo schema prima di collegare l'alimentazione.

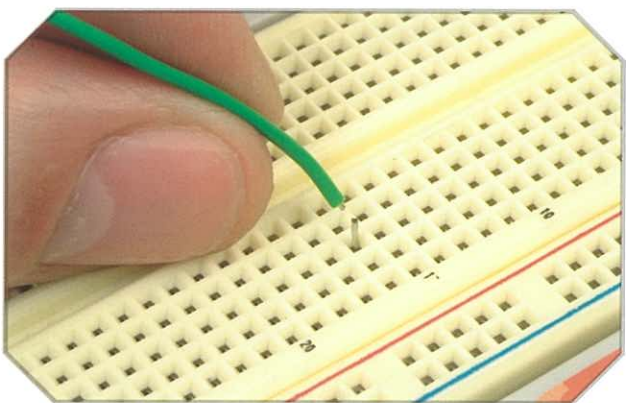
I transistor

I piccoli transistor sono facili da inserire, tuttavia conviene preformare leggermente i loro terminali separandoli tra di loro, in modo che gli estremi siano paralleli e separati di un decimo di pollice, ovvero di 2,54 mm, che è la distanza tra le file della scheda. Logicamente ogni terminale deve essere inserito in una fila diversa, e dovremo assicurarci che l'inserimento nei fori sia il più possibile perpendicolare alla scheda stessa.

Il BC547 e il BC548 sono transistor di utilizzo generale del tipo NPN che sopportano una corrente fino a 100 mA. Ricordiamo ancora una volta che i terminali di collettore ed emettitore non sono intercambiabili.

Fili

Vi è stato fornito un metro di filo isolato per essere usato a pezzi, benché possa essere utilizzato qualsiasi altro filo di questo diametro. Per utilizzarlo è sufficiente tagliarne un pezzo e

Gli estremi dei fili devono essere spelati per circa 6 mm.

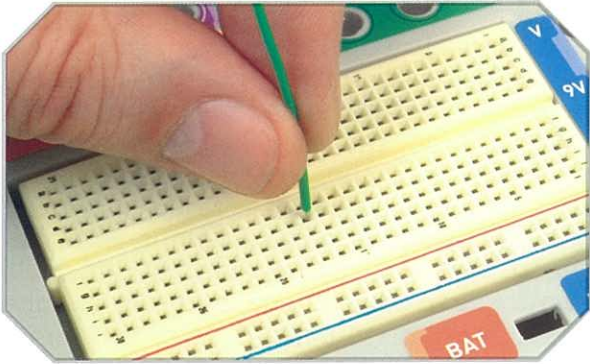
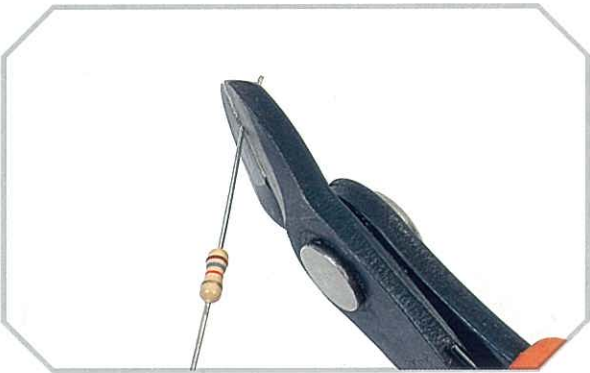
Conduttore di rame spelato.

I fili danneggiati si possono rompere all'interno della scheda.

asportare circa 6 millimetri di copertura isolante. È necessario fare molta attenzione a non danneggiare il conduttore del filo quando si asporta la copertura, in quanto il vero problema non è il filo, che è facilmente sostituibile, ma i piccoli pezzi che, sottoposti alle costanti flessioni subite durante l'inserzione o nei movimenti per collegare gli altri componenti, potrebbero rompersi, rendendo molto difficile la loro estrazione dalla scheda, dato che sarebbe necessario utilizzare pinze di ferro con punte molto sottili.

È necessario, pertanto, evitare l'utilizzo di fili con gli estremi danneggiati o eccessivamente ritorti, tagliando la parte danneggiata e deteriorata e asportando nuovamente un pezzo di isolante. Anche se presentano una difficoltà di utilizzo maggiore, è possibile utilizzare fili a reofori multipli, sempre che il diametro risultante sia compreso tra 0,5 e 0,8 millimetri; inoltre, i reofori dovranno essere ben posizionati, allineati e leggermente ritorti, mentre non è consigliabile stagnarli perché ciò ne aumenterebbe il diametro e complicherebbe la situazione. In nessun caso dovranno essere utilizzati cavi o fili di diametro superiore a 0,8 millimetri, perché si deformerebbe il terminale e potrebbe succedere che, utilizzando successivamente fili con sezione minore, i contatti non esercitino più sufficiente pressione per assicurare la connessione elettrica.

Utensili da taglio

I fili si tagliano con un tronchesino, strumento che potrebbe essere usato anche per asportare l'ultima parte di isolante di ogni punta, tuttavia è difficile eseguire bene questo tipo di lavoro con questo strumento, in quanto la cosa più probabile, a meno di non essere dei veri esperti, è di danneggiare o tagliare il conduttore interno di rame.

Esistono diversi modelli di "spelafili" sul mercato. Alcuni modelli si possono utilizzare con fili di diverso calibro, dato che dispongono di diverse posizioni, una per ogni diametro. In altri modelli il diametro del cavo deve essere regolato con un cacciavite. In ogni caso bisogna verificare, se necessario con una lente, che il conduttore non si danneggi. Bisogna anche fare una raccomandazione, i tronchesini che normalmente si utilizzano in elettronica tagliano materiale te-

I fili e i terminali devono essere inseriti, per quanto possibile, in verticale.

I terminali delle resistenze devono essere ripuliti e raddrizzati quando sono sporchi e molto ritorti.

nero come il rame e non possono essere utilizzati per tagliare filo di ferro. Non dovrebbero nemmeno essere lasciati sul tavolo alla portata di chiunque, perché sono una tentazione e potrebbero essere utilizzati da qualcuno per tagliare, ad esempio, una graffetta metallica, danneggiandoli definitivamente.

I tronchesini capaci di tagliare filo di ferro possono essere fisicamente uguali e possiamo confonderli facilmente, per questo, all'inizio, è sufficiente acquistare un modello economico, ma in ogni caso vanno custoditi con attenzione in modo che mantengano le loro caratteristiche di taglio. Una verifica semplice dello stato in cui si trovano è vedere se tagliano senza difficoltà le unghie della mano, se il taglio non è buono bisogna regolare o sostituire il tronchesino.

Montaggio

Il montaggio di qualsiasi prova inizia con lo schema da seguire e questo può essere stampato o preparato dal lettore. Dopodiché si trasferisce lo schema sul laboratorio, senza dimenticare nessun collegamento. Questo lavoro può sembrare difficile all'inizio, ma molto presto si acquisterà velocità e si avrà la soddisfazione di poter realizzare variazioni quasi istantanee sui circuiti cambiando, ad esempio, il valore di una resistenza, togliendone una e inserendone un'altra, e potendole riutilizzare entrambe in seguito.

Inserimento di una resistenza da 1K8.

L'oscilloscopio

Questo strumento è di uso comune e si utilizza nella quasi totalità dei laboratori. Non è necessario per il nostro laboratorio, però è uno strumento che si deve conoscere, dato che prima o poi ci troveremo a doverlo utilizzare. Esistono molti tipi di oscilloscopi, i più vecchi erano analogici ed erano composti da un tubo a raggi catodici con un controllo del raggio verticale e orizzontale; questo raggio si muoveva in senso verticale e orizzontale seguendo il livello della tensione applicato all'ingresso verticale e alla rampa di tensione generata sulla base tempi. Ora gli oscilloscopi sono digitali e la videata di presentazione è un monitor, che può essere a tubo catodico, LCD o TFT. Pur se con qualche limitazione, esistono programmi che fanno funzionare la scheda audio dei computer come un rudimentale oscilloscopio.

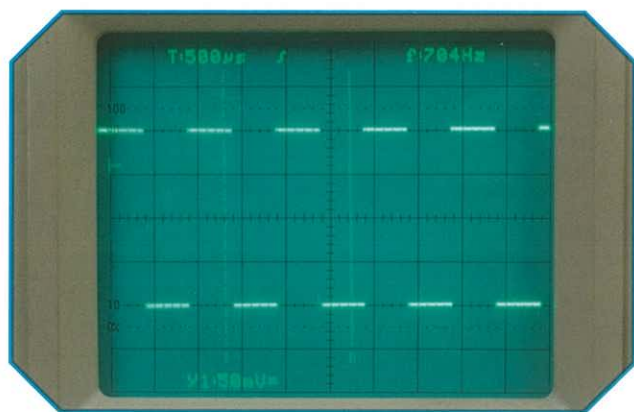
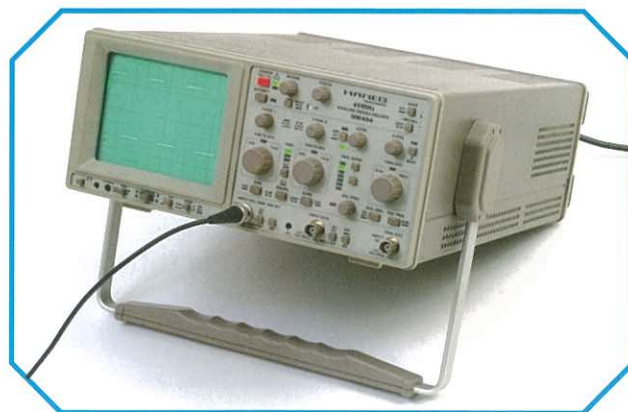
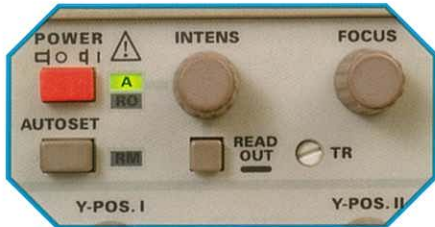
Generalità

L'oscilloscopio permette di vedere le forme del segnale e la sua variazione nel tempo. In altri termini, riporta sul video una rappresentazione tensione-tempo, la tensione in verticale e il tempo in orizzontale, in modo da seguire costantemente le variazioni di tensione del segnale o dei segnali applicati al suo ingresso. In questo modo è possibile conoscere il livello di tensione del segnale in ogni istante, compresa la sua frequenza e la sua forma d'onda.

Ingressi

Gli oscilloscopi moderni hanno almeno due canali di verticale, ovvero due ingressi di segnale che sono, in realtà, gli ingressi veri e propri dell'oscilloscopio. Normalmente si tratta di connettori BNC, dove il conduttore esterno è collegato a massa e quello interno riceve il segnale. Per segnali periodici e continui questo è l'unico ingresso, dato che l'oscilloscopio possiede all'interno una base tempi e un sistema di sincronizzazione per facilitare la visualizzazione.

Attenuatore

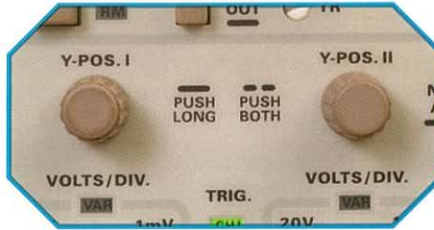
Ognuno di questi ingressi di segnale dispone di un attenuatore a passi per poter adattare il livello del segnale di ingresso ai circuiti interni. È anche chiamato comando di sensibilità e la sua posizione determina il valore di tensione che corrisponde ad ogni quadrato verticale del display. Questo comando può essere identificato come volt/divisione e permette di regolare la sensibilità di ingresso dell'oscilloscopio al livello di segnale applicato al suo ingresso, normalmente si calibrano in volt per divisione verticale. Il livello di tensione del segnale si calcola moltiplicando il numero di divisioni che si vedono sul display per il fattore di scala indicato dal cursore del comando di sensibilità.

Sull'oscilloscopio il segnale si vede direttamente.

Oscilloscopio da laboratorio a due canali.

Interruttori, comando di intensità e focalizzazione del raggio.

Comando della sensibilità (VOLT/DIV).

Comando della base tempi (TIME/DIV).

Connettore di ingresso del segnale.

Connettore di ingresso del trigger esterno.

Comando della posizione orizzontale (asse X).

Comando della posizione verticale (asse Y).

Sonda.

Y-POS

La forma d'onda si può posizionare in una zona del video che ci faciliti la lettura. Ci sono due comandi indicati come Y-POS, o con una doppia freccia verticale, che ci indicano che questo comando può spostare il segnale sul video, e ciò risulta utile, ad esempio, per sovrapporre i segnali dei due canali e verificare visivamente le loro differenze.

X-POS

Questo comando sposta il segnale in senso orizzontale. Può anche essere identificato con una doppia freccia orizzontale.

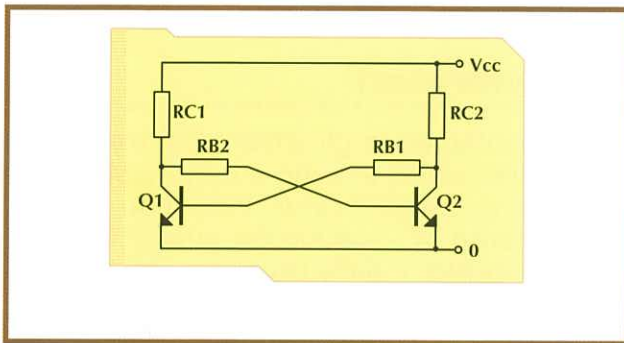
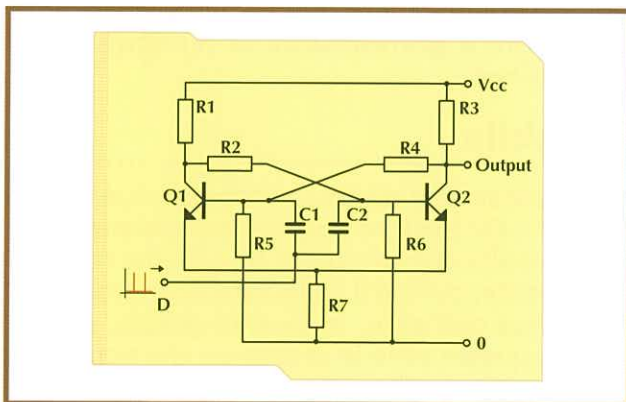
Base tempi

L'oscilloscopio ha un circuito orizzontale, che può essere utilizzato applicandogli una tensione, per la quale dispone di un connettore di ingresso del segnale; ciò che però vogliamo principalmente ottenere è un diagramma tensione-tempo, quindi avremo bisogno di un circuito che, oltre a generare le tensioni adeguate, funzioni in modo sincronizzato per poter visualizzare i segnali sul video. Dato che la gamma delle frequenze che un oscilloscopio normale può rappresentare è molto ampia, questo comando deve disporre di diverse posizioni segnate come tempo per divisione, normalmente TIME/DIV.

Sonda

Il collegamento del segnale si può realizzare con un cavo coassiale, una sonda. Il terminale di massa normalmente è una pinza, mentre il collegamento della misura è di tipo ad ago, anche se si può adattare una pinza per lasciare fisso il collegamento di misura.

Multivibratori con transistor

I** multivibratori a transistor sono circuiti di commutazione in cui l'uscita è in parte determinata dalle variabili d'ingresso e in parte dalle uscite stesse. Il segnale di uscita, o parte di esso, viene riportato sull'ingresso, in altre parole si esegue una retroazione sull'ingresso, quindi si tratta di circuiti retroazionati. Osservando gli schemi è possibile apprezzare questo nel dettaglio. L'uscita del circuito dipende, quindi, dallo stato precedente dell'uscita stessa e dall'eccitazione che si applica all'ingresso.

Circuito bistabile di base.

Circuito bistabile con transistor.

Il transistor

In questi circuiti il transistor lavora in commutazione, ovvero, o si trova in interdizione oppure in saturazione, quindi conduce o non conduce e questo ci permette di studiare i circuiti in un modo abbastanza semplice.

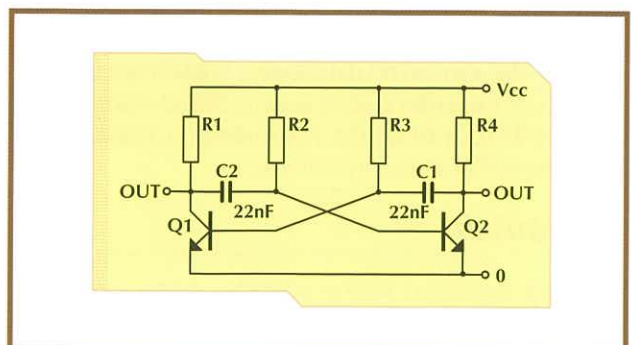
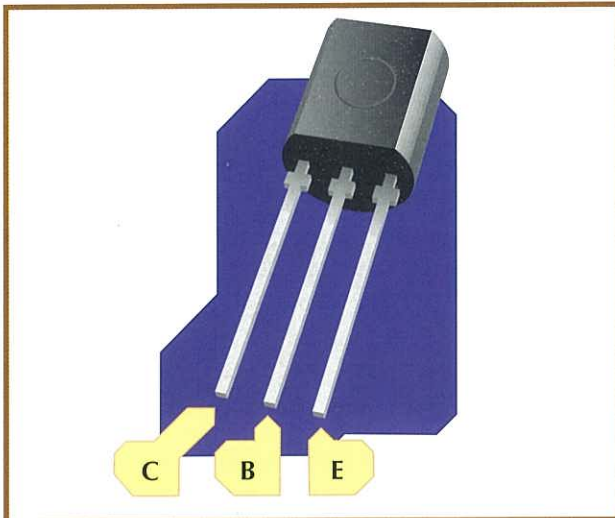
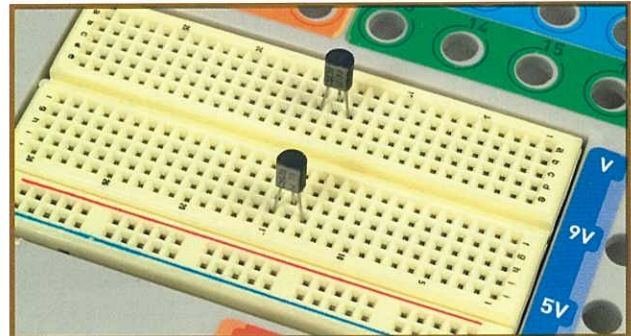
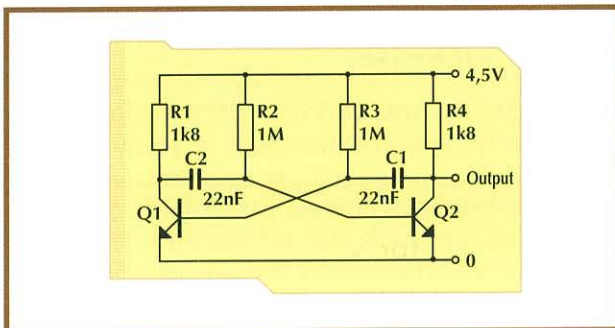
Tipi di circuiti

Questi circuiti possono rimanere in uno o due stati stabili, a seconda degli ingressi e delle uscite, e del loro stato precedente. Vengono anche definiti degli stati instabili in cui il circuito può rimanere per un periodo di tempo e, grazie ai componenti interni, al termine di questo periodo di tempo ritorna in uno stato stabile.

I circuiti multivibratori si possono classificare in tre tipi: bistabili, monostabili e astabili.

Bistabile

Questo circuito ha due stati stabili e, nella condizione di riposo, può rimanere in qualsiasi di questi fino a quando non riceve un segnale esterno che lo faccia cambiare di stato.

Circuito monostabile con transistor.

Circuito astabile con transistor.

Terminali del transistor BC547 o BC548.

Esempio di un circuito astabile con transistor.

Monostabile

Questo multivibratore ha uno stato stabile e un altro instabile. Lo stato instabile si ottiene grazie a un componente che può immagazzinare energia per un certo tempo, normalmente un condensatore. Quando si attiva lo stato instabile il sistema rimane in questo stato per un periodo di tempo che dipende dai componenti e dal circuito utilizzato; trascorso questo tempo, il circuito passa a uno stato stabile e vi rimane fino a quando non verrà nuovamente forzato sullo stato instabile.

Astabile

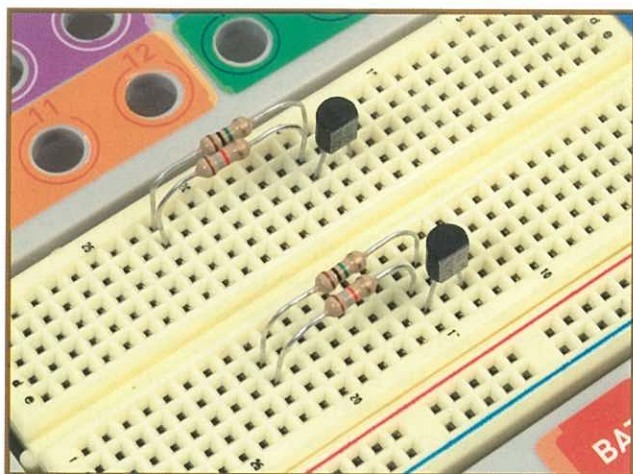
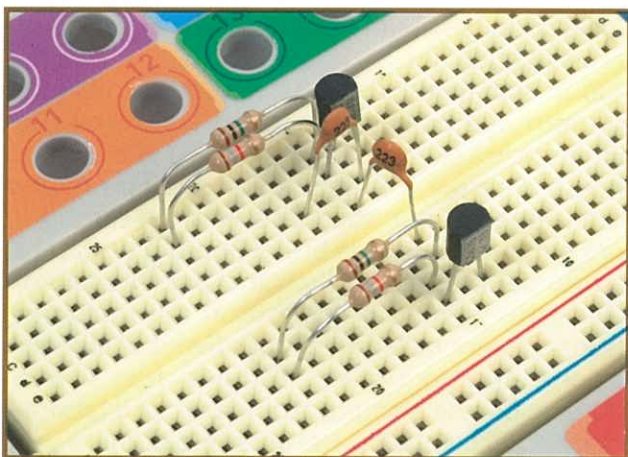
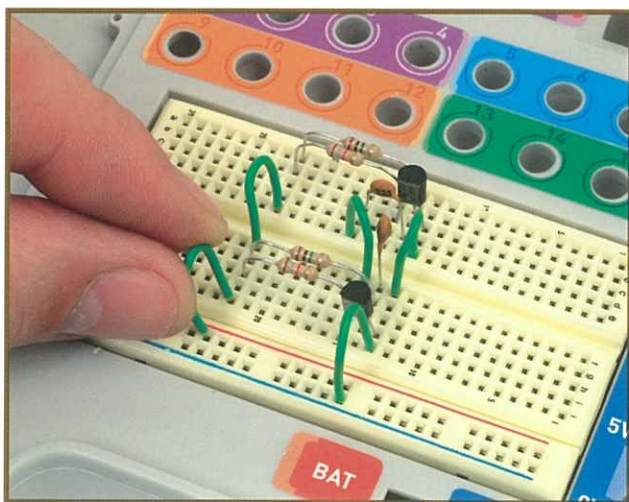
Non ha nessuno stato stabile, però possiede due stati instabili entro i quali cambia continuamente, quindi sulla sua uscita otterremo un segnale periodico.

Transistor inseriti.

Multivibratori

Fondamentalmente gli schemi dei tre circuiti sono molto simili, almeno a prima vista. Contengono due amplificatori invertenti con accoppiamento RC, ognuno dei quali è formato da un transistor e dalle rispettive resistenze di polarizzazione. Vi ricordiamo che quando un transistor è in saturazione conduce, e la sua tensione di collettore-emettitore è molto bassa, quasi nulla, mentre quando è in interdizione non conduce e la sua tensione collettore-emettitore è praticamente la tensione di alimentazione.

Bistabile

Se osserviamo lo schema vedremo i due transistor Q1 e Q2 e le loro resistenze di polarizzazione, oltre alle due resistenze R2 e R4 che collegano le uscite, ovvero il collettore di un transistor sulla base dell'altro, o, in altre parole, sull'ingresso; queste sono le resistenze che generano la retroazione. Quando si collega l'alimentazione al circuito, i transistor Q1 e Q2 si polarizzano nel seguente modo: le resistenze R1, R2 e R6 polarizzano la base del transistor Q2, mentre le resistenze R3, R4 e R5 fanno lo stesso con Q1. Come sempre esistono piccole differenze da un circuito all'altro, uno dei due transistor conduce prima dell'altro, supponiamo che sia Q1, che entra in saturazione, quindi la tensione sul suo collettore si abbassa e diminuisce anche sulla base di Q2, impedendo a questo di entrare in conduzione e obbligandolo a rimanere in interdizione. Il circuito rimane in questo stato fino a quando non si produce l'attivazione e si inverte la situazione, scambiando lo stato tra entrambi i transistor.

Transistor e resistenze montate.

Inserzione dei condensatori.

Installazione dei fili di connessione.

Monostabile

Osservando il circuito vedremo che è simile al precedente, nella condizione di riposo, ovvero quando l'alimentazione rimane collegata per un determinato tempo e il circuito è in uno stato stabile, il transistor Q1 è in interdizione e Q2 è saturo. Quando, però, si applica un impulso di attivazione alla base del transistor Q1, questi entra in conduzione, si satura e la sua tensione di collettore diventa molto bassa, scaricando rapidamente il condensatore C1 e portando Q2 in interdizione.

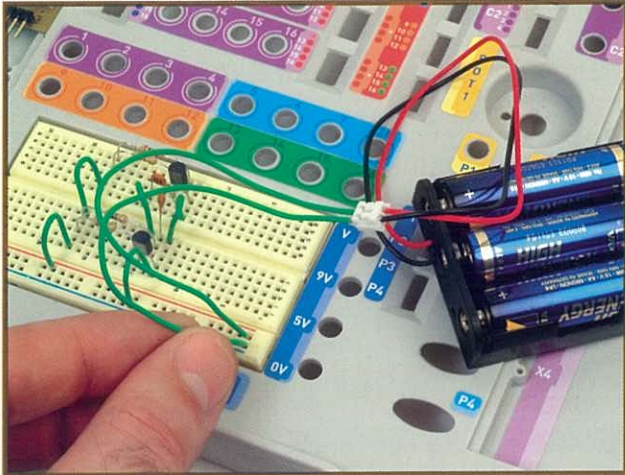
Al termine dell'impulso di attivazione inizia nuovamente la carica del condensatore C1 in modo lento, tramite la resistenza R2, fino a quando la tensione sulla base di Q2 lo farà condurre ed entrare in saturazione, obbligando il transistor Q1 a passare in interdizione e tornando quindi nello stato stabile fino al prossimo impulso di attivazione.

Astabile

Guardando lo schema possiamo vedere che il circuito è totalmente simmetrico. Anche se la tensione si applica simultaneamente su entrambi i transistor, vi sono piccole differenze che permetteranno a uno dei due di saturarsi obbligando l'altro a entrare in interdizione. Quando uno dei transistor è in interdizione, supponiamo Q1, la sua tensione di collettore sale e il condensatore C1 si carica fino a portare Q1 in conduzione; quando questo si satura, la carica del condensatore C2 scende di colpo facendo aprire il transistor Q2. Dato che il circuito è simmetrico, il processo si ripete nuovamente e si ottiene così un segnale periodico.

Esperimento

Dato che al momento disponiamo già degli elementi sufficienti, proviamo a costruire un astabile con i transistor. A questo scopo abbiamo bisogno dei seguenti componenti:

ASTABILE CON TRANSITOR
Q1, Q2 Transistor NPN BC547 o BC548
R1, R4 Resistenza 1K8 (marrone, grigio, rosso)
R2, R3 Resistenza 1 M (marrone, nero, verde)
C1, C2 Condensatore 22 nF

Astabile con transistor

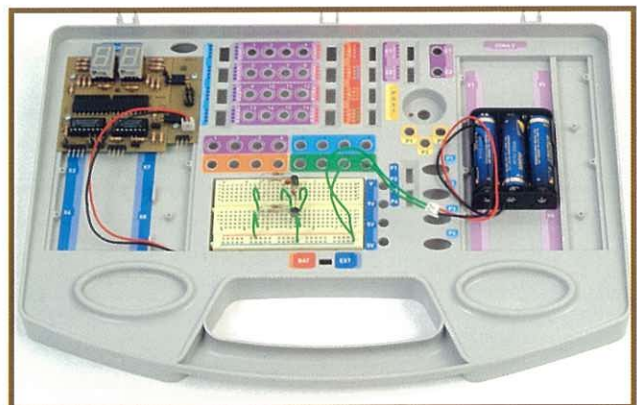
Utilizzeremo il circuito di esempio e monteremo i componenti indicati sulla scheda Bread Board. Dato che si tratta del primo esperimento lo descriveremo in modo dettagliato, passo a passo, aiutandoci con le fotografie e facendo molta attenzione al montaggio di ogni componente. Per prima cosa inseriremo i due transistor osservando attentamente il loro contenitore per evitare errori. Poi posizioneremo le resistenze, che si identificano grazie alle bande colorate del loro contenitore. Non potremo scambiare le une con le altre perché hanno valori diversi, bisognerà inserire i loro terminali in modo verticale per assicurare il contatto.

A questo punto posizioneremo i condensatori. I collegamenti che non si possono realizzare utilizzando la scheda Bread Board verranno fatti con pezzi di filo.

In questo caso l'alimentazione sarà collegata con altri due pezzi di filo al portabatterie che non è ancora stato montato, il cavo rosso è il positivo e il nero è il negativo, bisogna fare molta attenzione per non sbagliare. Per non commettere errori, sulla scheda Bread Board si utilizzerà il rosso per il positivo e l'azzurro per il negativo, nel nostro schema gli emettitori dei transistor devono essere collegati al negativo dell'alimentazione. Questo circuito, tuttavia, non si può provare, perché bisogna attendere che il laboratorio sia più completo. Nel prossimo numero e in quello successivo, realizzeremo un esperimento simile che potremo provare, ma per il momento, l'unico modo per vedere le forme d'onda è collegare un oscilloscopio che ci mostrerà il risultato ottenuto.

Collegamenti provvisori dell'alimentazione.

Segnale di uscita sull'oscilloscopio.

Tensione ai capi del condensatore C1.

Aspetto dell'esperimento.

Il modo riposo: SLEEP

Molte delle applicazioni che svilupperemo resteranno in attesa che si verifichi un determinato evento. Durante questa attesa il microcontroller non avrà nulla da fare, sarà disoccupato, come, ad esempio, nel caso di un telefono cellulare. Se un microcontroller entra in un periodo di attesa non è necessario che i suoi dispositivi rimangano attivi, e sarebbe raccomandabile che il consumo non fosse uguale a quando è in funzione. Per gestire questa situazione i PIC implementano il modo riposo.

Generalità del modo riposo

Il modo riposo permette di risparmiare energia elettrica quando il microcontroller entra in lunghi periodi di attesa. Immaginate il telecomando della porta del garage con alimentazione a pile. Se mancasse il modo riposo, il microcontroller consumerebbe costantemente e le batterie dovrebbero essere sostituite di frequente. Invece, grazie al modo riposo, il microcontroller consuma il minimo, fino a quando non si preme un pulsante, momento in cui attiva tutti i suoi dispositivi ed esegue l'applicazione.

I PIC16F87X hanno un consumo tipico di 2 milliampere (mA) quando funzionano normalmente, alimentati con una tensione di 5 Vdc a una frequenza di 4 MHz. Se entrano in modo riposo il consumo si riduce a meno di 1 microampére (μA).

Per fare in modo che un PIC entri in modo riposo bisognerà utilizzare l'istruzione SLEEP, con la quale il PIC si "addormenta", diminuendo notevolmente il suo consumo di energia, dato che si ferma l'esecuzione delle istruzioni, cessa di funzionare l'oscillatore principale, i temporizzatori, i dispositivi e le linee di ingresso e uscita passano in stato di alta impedenza se non sono utilizzate o mantengono il loro stato nel caso siano utilizzate.

Sarebbe conveniente che i terminali di I/O non utilizzati siano collegati al positivo dell'alimentazione oppure a massa, per evitare qualsiasi consumo quando, in modo riposo, passano allo stato di alta impedenza. Conviene anche collegare a massa o al positivo il piedino T0CKI,

Dispositivi che utilizzano il modo riposo per ridurre il loro consumo.

	PIC16F87X	
Modo di lavoro	Normale	Riposo
Consumo	2 mA	<1 μA

Differenza di consumo tra funzionamento normale e modo riposo.

	MODO RIPOSO
Watchdog (WDT)	Attivato: si aggiorna il suo valore, si cancella, però continua a funzionare normalmente
Oscillatore principale	Smette di funzionare: non si eseguono istruzioni
Porte di I/O	Attivate: mantengono lo stato precedente
	Disattivate: passano a stato di alta impedenza
Bit TO e PD del registro di stato	Passano a valore 1 e 0 rispettivamente

Azioni che avvengono quando eseguiamo l'istruzione SLEEP.

ABBANDONO DEL MODO RIPOSO
Ingresso di reset esterno sul pin MCLR
Overflow del Watchdog (nel caso in cui il WDT sia attivato)
Interrupt sul pin INT, interrupt da dispositivi interni del PIC o cambio di stato sulla porta B

Eventi che provocano l'uscita del microcontroller dal modo riposo.

Bit	Posizione	Valore	Significato
PD	STATUS<3>	0	Esecuzione di SLEEP. Modo riposo
		1	Il PIC è attivo
TO	STATUS<4>	0	Il Watchdog (WDT) è in overflow
		1	Il Watchdog (WDT) non è in overflow

Bit che indicano come è stato riattivato il microcontroller.

INTERRUPT DA DISPOSITIVI INTERNI DEL PIC
Interrupt tramite TMR1. Il Timer 1 deve funzionare come contatore asincrono
Interrupt da modulo di capture CCP
Attivazione speciale di evento (Timer 1 in modo asincrono usando un clock esterno)
SSP (START/STOP) bit di rilevazione di interrupt
SSP trasmissione o ricezione in modo slave (SPI/I2C)
USART RX O TX (Modo sincrono slave)
Conversione A/D (quando la sorgente del clock è un oscillatore RC)
Operazione di scrittura nella EEPROM

Interrupt che possono fare uscire il PIC dal modo riposo.

che è l'ingresso del clock esterno per il temporizzatore Timer 0 (TMR0), così come il piedino $\overline{MCLR}$/Vpp a livello logico alto (positivo). Il Watchdog o WDT (Watchdog Timer) è un temporizzatore inizialmente caricato con un determinato valore che diminuisce fino ad arrivare a zero, momento in cui si produce un reset. Si utilizza per evitare che il processore, pur essendo in esecuzione del programma, non possa più uscire da un ciclo. Per non provocare il reset si inseriscono istruzioni di aggiornamento o di reinizializzazione in punti strategici del programma. Se, al momento di entrare nel modo riposo, il Watchdog è in funzione, esso viene aggiornato ma continua a lavorare.

Risveglio dal modo riposo

Abbiamo visto come possiamo portare il microcontroller in modo riposo o di minimo consumo, ma cosa bisogna fare per riportarlo nello stato di funzionamento normale? Per risvegliare il PIC dal modo riposo è possibile utilizzare uno dei tre eventi che sono riportati nella figura.

Quando si riattiva il PIC grazie a uno di questi eventi, il funzionamento normale si ottiene nuovamente dopo un tempo pari a 1024.Tosc, controllato dall'oscillatore interno chiamato OST, in modo da permettere la stabilizzazione della frequenza di funzionamento.

Attivazione del terminale di reset $\overline{MCLR}$

Quando si produce questo evento, il microprocessore si riattiva ed esegue la prima istruzione del programma che si trova nel vector di Reset, generando un reset.

Funzionamento del processore quando entra in modo riposo e ne esce grazie a un interrupt.

Per overflow del Watchdog

In questo caso, quando il Watchdog che era attivo al momento dell'esecuzione dell'istruzione SLEEP va in overflow, genera un reset nel processore.

Per identificare come si è verificata l'uscita dal modo riposo si eseguono dei test sui bit TO e PD del registro di stato STATUS.

Per attivazione di un interrupt

Esistono molti modi per provocare un interrupt che faccia uscire il microcontroller dallo stato di riposo. Nella figura possiamo vedere alcuni di questi modi.

Al momento dell'esecuzione dell'istruzione SLEEP, è già stata cercata l'istruzione successiva (PC+1). Per fare in modo che il PIC riparta grazie a un evento generato tramite un interrupt, il bit corrispondente di abilitazione degli interrupt (GIE) deve essere abilitato.

Se questo bit è disabilitato, il PIC continuerà a eseguire il codice con l'istruzione successiva alla SLEEP, quando si risveglierà da essa. Se il bit è stato abilitato, al risveglio il PIC eseguirà l'istruzione successiva alla SLEEP saltando poi al vector di interrupt (0004h). Se non vogliamo che il PIC esegua un'istruzione dopo lo SLEEP, utilizzeremo l'istruzione nop.

Nella figura possiamo vedere un chiaro esempio di ciò che succede quando il processore si riattiva dal modo riposo grazie a un interrupt. Come possiamo vedere, il bit GIE è attivato, e questo permette l'abilitazione degli interrupt. Entrando nel modo riposo mediante l'istruzione SLEEP, sul contatore di programma (PC) rimane scritto l'indirizzo dell'istruzione successiva alla SLEEP (PC+2) e l'oscillatore smette di funzionare. Quando si produce un interrupt il microcontroller si risveglia, però, per recuperare il funzionamento normale, necessita di un tempo TOST. Trascorso questo tempo si esegue l'istruzione indicata dal contatore di programma passando successivamente a eseguire la prima istruzione del vector di interrupt.

La parola di configurazione

Viene definita parola di configurazione una posizione riservata della memoria di programma che occupa l'indirizzo 2007h e che funziona come un registro CONFIG di configurazione. In essa si determina il modo di lavoro del microcontroller. I due bit più significativi determineranno il grado di protezione della memoria di programma, altri bit indicheranno il tipo di oscillatore che determinerà la frequenza di lavoro, altri la protezione delle memorie FLASH e EEPROM dei dati, ecc.

Nella figura della pagina successiva possiamo vedere la funzionalità di ognuno dei bit che formano la parola di configurazione, uni-

PAROLA DI CONFIGURAZIONE

CP1	CP0	DEBUG	—	WRT	CPD	LVP	BODEN	CP1	CP0	$\overline{PWRTE}$	WDTE	FOSC1	FOSC0

bit 13 — bit 0

Distribuzione dei bit della parola di configurazione.

Bit 13-12	CP1:CP0	Bit di protezione della memoria di programma anti lettura. Le coppie CP1:CP0 devono avere lo stesso valore per rendere la protezione effettiva
Bit 5-4	CP1:CP0	Bit di protezione della memoria di programma anti lettura
	11	Codice di protezione disattivato
	10	Non supportato
	01	Non supportato
	00	Codice di protezione attivato
Bit 11	DEBUG	Modo di messa a punto "in circuit"
	1	Disattivato. RB7:RB6 funzionano come linee di I/O
	0	Attivato: RB7:RB6 funzionano in modo messa a punto
Bit 10	—	Non implementato. Si legge come 1
Bit 9	WRT	Abilitazione di scrittura nella memoria FLASH
	1	Si può scrivere nella parte non protetta della memoria FLASH
	0	Scrittura disabilitata
Bit 8	CPD	Codice di protezione della memoria EEPROM dei dati
	1	Non c'è protezione nella EEPROM
	0	Protezione del codice nella EEPROM
Bit 7	LVP	Bit di abilitazione per la programmazione seriale a bassa tensione "in circuit"
	1	RB3/PGM abilita la scrittura a bassa tensione
	0	RB3/PGM funziona come I/O digitale. La programmazione si realizza ad alta tensione
Bit 6	BOREN	Bit di abilitazione per il reset per caduta di tensione
	1	BOR attivato
	0	BOR disattivato
Bit 3	PWRTEN	Bit di abilitazione per il Timer di connessione dell'alimentazione
	1	PWRTEN attivato
	0	PWRTEN disattivato
Bit 2	WDTEN	Bit di abilitazione del Timer del Watchdog
	1	WDT attivato
	0	WDT disattivato
Bit 1-0	FOSC1:FOSC0	Selezione del tipo di oscillatore
	11	RC (Resistenza-condensatore)
	10	HS (Alta Velocità. Più di 4 Mhz)
	01	XT (Standard. Da 100 KHz a 4 MHz)
	00	LP (Bassa potenza. Da 35 a 200 KHz)

Funzionalità dei bit della parola di configurazione.

tamente ai valori che devono assumere per funzionare in un modo o nell'altro.

Parole di identificazione

Si tratta di quattro parole o posizioni riservate della memoria di programma comprese tra gli indirizzi 2000 e 2003h, i cui quattro bit meno significativi possono essere utilizzati dall'utente per operazioni di verifica, codici di identificazione, numeri di serie, schede, modello, ecc. sono accessibili solamente in lettura e scrittura durante la fase di programmazione/verifica della memoria FLASH.

Conclusioni

Abbiamo visto uno dei dispositivi più importanti dei PIC, che alcune volte rappresenta un grande vantaggio rispetto ai microcontroller della concorrenza. Il risparmio di consumo è fondamentale in molte applicazioni a cui sono destinati i microcontroller. Mediante l'istruzione SLEEP il PIC entra in modo riposo, garantendo un consumo minimo. Per uscire dal modo riposo possiamo fare un reset, utilizzare il WDT o servirci di un interrupt. Questi due ultimi concetti verranno studiati più dettagliatamente nei capitoli successivi.